

MAGNETIC FIELD SENSOR AND MAGNETIC HEAD

Publication Number: 2003-069107 (JP 2003069107 A) , March 07, 2003

Inventors:

- TAKAHASHI HIROMASA

Applicants

- HITACHI LTD

Application Number: 2001-254930 (JP 2001254930) , August 24, 2001

International Class:

- H01L-043/06
- G01R-033/07
- G11B-005/37
- H01F-010/16
- H01L-027/105
- H01L-043/04
- H01L-043/10

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To sense external magnetic fields by means of a magnetic field sensor using a Hall effect. **SOLUTION:** In the sensor section of the magnetic field sensor, a material containing a magnetic material, such as a compound material of FeN, etc., having a large abnormal Hall effect, a magnetic semiconductor having a zincblende structure, an oxide having a perovskite structure, etc., is used. The sensor is formed in an element-like shape that can induce a magnetic field in the in-plane direction of a film by respectively arranging the current terminal and voltage terminal of the film in the thickness direction and in-plane direction of the film. **COPYRIGHT:** (C)2003,JPO

JAPIO

© 2005 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 7575266

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-69107

(P2003-69107A)

(43) 公開日 平成15年3月7日(2003.3.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード(参考)
H 0 1 L 43/06		H 0 1 L 43/06	Z 2 G 0 1 7
			M 5 D 0 3 4
G 0 1 R 33/07		G 1 1 B 5/37	5 E 0 4 9
G 1 1 B 5/37		H 0 1 F 10/16	5 F 0 8 3
H 0 1 F 10/16		H 0 1 L 43/04	

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-254930(P2001-254930)

(22) 出願日 平成13年8月24日(2001.8.24)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 ▲高▼橋 宏昌

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100091096

弁理士 平木 祐輔

Fターム(参考) 2G017 AA03 AD52

5D034 AA02 AA03 BA01

5E049 AA04 AA07 AA09 AC05 BA12

BA16 CB01 DB12

5F083 FZ10 HA06 PR04

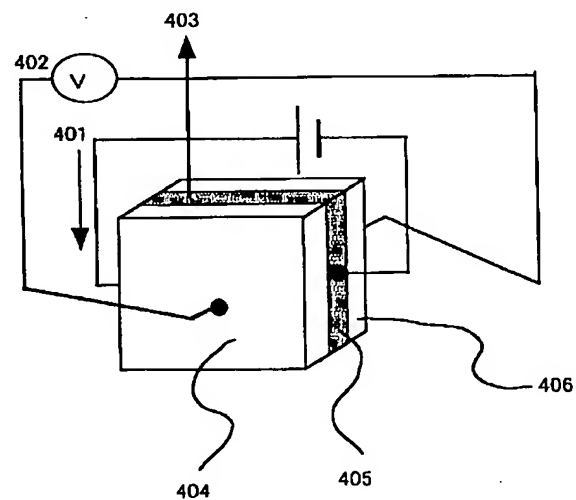
(54) 【発明の名称】 磁界センサー及び磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 ホール効果を用いた磁界センサーで外部磁場を感知する。

【解決手段】 センサー部分に、異常ホール効果の大きいF e N等の化合物材料、閃亜鉛構造を持つ磁性半導体、ペロブスカイト構造を持つ酸化物などの磁性体を含む材料を用いる。膜の電流端子と電圧端子を、膜厚方向と膜面内方向にそれぞれとることで、磁界を膜面内方向に誘導可能な素子形状とする。

図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の電極膜と、前記第 1 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第 2 の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向で互いに離間した 2 つの領域にそれぞれ接続された第 3 及び第 4 の電極とを備えることを特徴とする磁界センサー。

【請求項 2】 請求項 1 記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガンから選択された少なくとも 1 種類の元素を含有する強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【請求項 3】 請求項 1 記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガン、バナジウム、クロムから選択された少なくとも 1 種類の元素と、ガリウム、砒素、インジウム、アンチモン、シリコン、ゲルマニウム、テルル、酸化亜鉛、チタン化合物から選択された少なくとも一つを含有する閃亜鉛構造をもつ半導体材料との化合物からなる強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【請求項 4】 請求項 1 記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガン、バナジウム、クロムから選択された少なくとも 1 種類の元素と、ガリウム、砒素、インジウム、アンチモン、シリコン、ゲルマニウム、テルル、酸化亜鉛、酸化チタンの少なくとも一つを含有する半導体材料とを積層することで作製した強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【請求項 5】 請求項 1 記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、ランタン、ストロンチウム、カルシウム、マンガン、ホウ素、銅、酸素から選択された 3 種類以上の元素を含有するペロブスカイト構造を持つ強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【請求項 6】 第 1 の電極膜と、前記第 1 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第 2 の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向で互いに離間した 2 つの領域にそれぞれ接続された第 3 及び第 4 の電極とを備え、前記第 1 の電極と第 2 の電極の間に電流を流し、前記第 3 の電極と第 4 の電極の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁界センサー。

【請求項 7】 第 1 の電極膜と、前記第 1 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第 2 の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向で互いに離間した 2 つの領域にそれぞれ接続された第 3 及び第 4 の電極とを備え、前記第 3 の電極と第 4 の電極の間に電流を流し、前記第 1 の電極と第 2 の電極の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁界センサー。

【請求項 8】 第 1 の電極膜と、前記第 1 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第 2 の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向で互いに離間した 2 つの領域にそれぞれ接続された第 3 及び第 4 の電極とを備え、前記第 1 の電極と第 2 の電極の間に電流を流し、前記第 3 の電極と第 4 の電極の間に発生する電圧を検出する素子を複数含み、各素子の電圧を検出する電極が直列に接続され、少なくとも 1 つの素子の電流が他の素子と逆方向に流れるように各電極が接続されていることを特徴とする磁界センサー。

【請求項 9】 第 1 の電極膜と、前記第 1 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第 2 の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向で互いに離間した 2 つの領域にそれぞれ接続された第 3 及び第 4 の電極とを備え、前記第 3 の電極と第 4 の電極の間に電流を流し、前記第 1 の電極と第 2 の電極の間に発生する電圧を検出する素子を複数含み、各素子の電圧を検出する電極が直列に接続され、少なくとも 1 つの素子の電流が他の素子と逆方向に流れるように各電極が接続されていることを特徴とする磁界センサー。

【請求項 10】 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーとして請求項 1～7 のいずれか 1 項記載の磁界センサーを用いたことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項 11】 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、第 1 の電極膜と、前記第 1 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第 1 の磁性膜と、前記第 1 の磁性膜上に形成された第 2 の電極膜と、前記第 2 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第 2 の磁性膜と、前記第 2 の磁性膜上に形成された第 3 の電極膜とを備え、前記第 1 の磁性膜と第 2 の磁性膜に媒体対向面に略平行な方向の電流を流し、前記第 1 の電極膜と第 3 の電極膜の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項 12】 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、第 1 の電極膜と、前記第 1 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第 1 の磁性膜と、前記第 1 の磁性膜上に形成された第 2 の電極膜と、前記第 2 の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す

第2の磁性膜と、前記第2の磁性膜上に形成された第3の電極膜とを備え、前記第1の電極膜と第3の電極膜の間に電流を印加し、前記第1の磁性膜と第2の磁性膜に発生する媒体対向面に略平行な方向の電圧を合成して検出することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項13】 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置され媒体対向面に露出した位置から素子高さ方向に伸び磁界を内部に導く磁気ヨーク膜と、磁界センサーを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁気センサーは、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記磁気ヨーク膜の媒体対向面より後退した位置で前記磁気ヨーク膜の切断部に配置されていることを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項14】 請求項11、12又は13記載の磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、媒体面に平行な方向の長さが媒体面に垂直な方向の長さより長いことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項15】 情報を記録する磁界センサー膜と、前記磁界センサー膜に接続したビット線と、前記磁界センサー膜から離れた位置にあって前記磁界センサー膜を挟んで前記ビット線と対向し、かつ、前記ビット線に直交し、前記磁界センサー膜に対して記録動作を行うワード線と、記録信号を増幅する増幅系と、読み出し書き込みのスイッチを行う読み出しワード線とを備えたセルが複数個並列している構造を持つ磁気記憶素子において、前記磁界センサーが異常ホール効果を示す強磁性膜を含む請求項1～9のいずれか1項記載の磁界センサーであることを特徴とする磁気記憶素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁界を感知するための磁界センサー及び磁気ディスクに記録された情報を再生するための磁気ヘッドに関し、特に再生分解能に優れた磁界センサー及び磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】磁気記録再生装置における記録密度は著しい向上を続けており、その磁気記録再生ヘッドは、記録、再生の両特性に関し高性能化の要求が高い。再生素子に関しては、(1)高感度化技術の向上、(2)トラック幅の狭小化技術向上、及び(3)再生ギャップ間隔の狭小化技術の向上という3点の技術を向上させることが要求されている。(1)については磁気抵抗効果を利用したMRヘッドを発展させることにより高感度化が進められている。数(Gb/in^2)の低記録密度では異方性磁気抵抗効果(AMR)を用いて記録媒体上の磁気的信号を電気信号に変換していたが、これを超える高記

録密度になると、より高感度の得られる巨大磁気抵抗効果(GMR)を用いてこの高記録密度に対応してきた。GMRを用いた磁気ヘッドに関しては、例えば特開平4-358310号公報にスピンバルブと呼ばれる構造が記されている。スピンバルブは、反強磁性層によって磁化が特定の方向に固定された磁性体からなる固定層と、この固定層に非磁性薄膜を介して積層された磁性膜からなる自由層とで構成されており、固定層と自由層の磁化の相対的な角度で電気抵抗が変化するものである。

【0003】しかしながら、昨今の高感度化の進展により、さらなる高感度化に対処するための新規な再生方式が必要とされている。この候補として現在のところ、高分極率材料や酸化物層をGMR構造の界面に挟んで電子のスピン多重反射効果により出力の増大をねらったスベキュラーGMRやNOL-GMRと呼ばれるアドバンスGMR効果や、あるいは、膜面に垂直な方向に検出電流を流す方式のGMR(CPP-GMR)や、トンネル磁気抵抗効果(TMR)が有力である。

【0004】これらの効果は、磁気電気効果における磁気抵抗変化現象の応用によるものである。ここで、ホール効果も電気磁気効果の一種であり、物質中を流れる電流に直交する方向に磁界を印加したときに、電流、磁界の両者と直交する方向に電圧が発生する現象である。ホール効果は古くから認知されており、キャリア密度と電子の散乱係数が関与している。今日では、半導体を材料に用い、ホール素子として磁界測定に應用されている。これを磁気ヘッドに應用しようとする試みは特開平2-308409号公報などにも記載されている。この場合、半導体からなるホール素子と同様に、膜面内で電流端子と電圧端子の4端子の電極をとり、膜面に垂直な信号磁界を測定する方式と、これを2枚重畳したもので磁気記録のビット間隔よりも素子厚さの狭い構造を用いることで、磁界の反転部分を感知する機構(差動型)が提案されている。また、特開平9-289344号公報に、3d金属の異常ホール効果を利用した磁界センサーとして面内磁気記録に対する基本的な原理が提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】再生素子の将来的構造を考えた場合、記録素子が従来の面内磁気記録方式では十分な記録磁界を出すことが困難である点と、さらに高感度な磁気抵抗センサーであるCPP-GMRやTMRが膜面に垂直なセンス電流を流す構造を利用した磁界センサーであることから、CPP方式のセンス電流を流す構造に移行するようになると考えられる。しかし、このような構造を採用し、磁気抵抗センサー膜の素子面積を小さくした場合に、磁気抵抗センサー素子が微細、薄膜化することでセンサー膜を構成する磁性膜膜厚の占める体積が小さくなり、その磁化が熱揺らぎによって揺動し、所定の磁化比を確保できなくなるという新たな問題

が生じる。

【0006】ホール効果を用いた場合、基本的に現状の半導体ホール素子材料は磁界に対して出力電圧が線形であることから、広範囲の磁界測定については利点があるが、微小な磁界に対する出力は小さい。また、これらの半導体材料は一般に非磁性（反磁性）であるから、磁界センサーを構成した場合にセンサー部に記録媒体からの漏洩磁界を集中させることが困難であり、感度を上昇させることが困難である。このような膜で高感度の磁界センサーを作る場合は、磁界がセンサー部に集中するよう

な構造にすることと、磁場に対する出力が大きいセンサー膜が必要である。

【0007】本発明は、このようなホール効果を用いた

磁界センサーの問題点を鑑み、磁気ヘッドあるいはMRAMに適用可能な構造、構成をもつ磁界センサーを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では、異常ホール効果（磁性体ホール効果）を示す材料を用いて磁界センサーを構成する。この磁界

センサーは、磁界が印加されることによって異常ホール効果成分を含む信号を検知する。

【0009】図1は、ホール効果をもつ材料と、異常ホール効果をもつ材料についての磁界Bとホール電圧V_hの関係を示す図である。従来のホール効果（正常ホール効果）を用いた磁界センサー、特にホール素子として使用されているものは、InSbなどの非磁性の半導体を使用したものであった。このときの出力（ホール抵抗） ρ_H は、図1からもわかるように外部磁界（磁束密度）をBとして

$\rho_H = R_H B$

と記述され、外部磁界Bに比例する値である。ここで、 R_H はホール定数で、センサーとなる物質のキャリア密度に反比例する特徴を有する。これに対し、ホール効果をもつ材料が磁性体である場合には、出力（ホール抵抗） ρ_H は、外部磁界（磁束密度）をB、磁性体の磁化をMとして

$\rho_H = R_H B + R_s M$

と表される。この R_s は異常ホール定数である。また、この ρ_H は磁化Mに比例する成分をもつ。さらに、 R_s

は温度、磁化の揺らぎが関与した値である。従って、低磁界における磁化の磁界依存性が大きい軟磁気特性からなる磁性体では、 ρ_H は磁性体の磁化Mに比例するため、低磁界における異常ホール抵抗の変化、すなわち R_s の値は大きい。よって、低磁界をセンシングするセンサー膜の提供を目的とする本発明では、センサー膜の材料に磁性材料を含む材料を用い、磁性体に特有の異常ホール効果を利用したほうが出力は高い値が得られる可能性がある。

【0010】電流方向、磁界方向、出力電圧方向の関係

について従来は、膜面内の4個所に電極を設けて、膜面内に電流を流しながら、膜厚方向に磁界を印加して、このとき膜面の電流方向と直交する方向に発生する電圧を出力として得ていた。通常の膜で磁気ヘッドのような構造への適用を考えた場合、膜面を媒体面に平行にした場合には、媒体対向面のセンサー膜よりも媒体側に電極がある構造をとらなければならないため、通常の磁気ヘッドにおける素子浮上高さに加えて電極膜厚が重畳してセンサー膜と媒体面の距離（実効浮上高さ）が開くために、センサー膜に到達する磁界が弱くなる。これに対し、媒体対向面側に電極の無いホール素子構造をとることで媒体からの磁界を最小限の損失で感知できる構造を考案した。これは、電流、あるいは電圧を膜厚方向にとることによって可能となる。

【0011】このときに異常ホール効果素子の場合、センサー膜だけが磁性膜なので磁場がセンサー部分に集中しやすい構造である。ただし、磁界集中の効率を向上させるために、周囲を磁気回路構造にして、一部分をセンサー膜にするヨーク構造やフラックスガイド型構造を適用することで磁界に対する出力の効率を向上できる。

【0012】このような異常ホール効果を示す材料として、従来は鉄やコバルト、ニッケルのような3d電子による強磁性金属、合金などが考えられていた。例えば、また、不純物添加した材料による異常ホール効果はしばしば不純物濃度や電気抵抗にほぼ比例して増大する傾向があるため（正比例する成分と二乗比例する成分がある）、不純物添加した金属材料も考えられる。また、最近の研究から、反強磁性体と強磁性体の境界領域の組成をもつLa_{0.5}Si_{0.5}MnO₂やLa_{0.5}Ca_{0.5}MnO₂などの一部の材料では、電子相関に伴うエネルギーが系の物理的性質を支配し、ある組成近辺で反強磁性になろうとしつつも強磁性体であるといった臨界状態になり、個々のスピンの揺動（ゆらぎ）が大きくなる傾向があり、このとき大きな異常ホール抵抗が見られる場合がある。また、磁性体と半導体を組み合わせた材料から構成される磁性半導体では、大きなモーメントと大きな異常ホール効果が見られることがわかってきた。特に、閃亜鉛型の結晶構造をもつ、III-V族化合物半導体にMnなどの磁性体をドーブした希薄磁性半導体や、ZnOやGa_{0.99}Nに遷移金属をドーブした磁性半導体、その他の閃亜鉛型結晶構造をもつ磁性半導体には、室温で強磁性的挙動を示し、室温での異常ホール定数が $1 \times 10^{-11} \text{ V cm / AG}$ （ボルトセンチメートル／アンペアガウス）以上となる高異常ホール効果材料が存在する。したがって、これらの材料をセンサー部分に用いることで、所望の出力をもつ磁界センサーあるいはこれを応用した磁気デバイスを作ることが可能である。

【0013】本発明による磁界センサー及び磁気ヘッドは以下の特徴を有する。

(1) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成され

た異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備えることを特徴とする磁界センサー。

(2) (1) 記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガンから選択された少なくとも1種類の元素を含有する強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【0014】(3) (1) 記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガン、バナジウム、クロムから選択された少なくとも1種類の元素と、ガリウム、砒素、インジウム、アンチモン、シリコン、ゲルマニウム、テルル、酸化亜鉛、酸化チタンから選択された少なくとも一つを含有する閃亜鉛構造をもつ半導体材料との化合物からなる強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

(4) (1) 記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、鉄、コバルト、ニッケル、マンガン、バナジウム、クロムから選択された少なくとも1種類の元素と、ガリウム、砒素、インジウム、アンチモン、シリコン、ゲルマニウム、テルル、酸化亜鉛、酸化チタンの少なくとも一つを含有する半導体材料とを積層することで作製した強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

【0015】(5) (1) 記載の磁界センサーにおいて、前記磁性膜は、ランタン、ストロンチウム、カルシウム、マンガン、ホウ素、銅、酸素から選択された3種類以上の元素を含有するペロブスカイト構造を持つ強磁性体膜あるいは反強磁性膜であることを特徴とする磁界センサー。

(6) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記第1の電極と第2の電極の間に電流を流し、前記第3の電極と第4の電極の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁界センサー。

【0016】(7) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記第3の電極と第4の電極の間に電流を流し、前記第1の電極と第2の電極の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁界センサー。

(8) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4

の電極とを備え、前記第1の電極と第2の電極の間に電流を流し、前記第3の電極と第4の電極の間に発生する電圧を検出する素子を複数含み、各素子の電圧を検出する電極が直列に接続され、少なくとも1つの素子の電流が他の素子と逆方向に流れるように各電極が接続されていることを特徴とする磁界センサー。

【0017】(9) 第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記第3の電極と第4の電極の間に電流を流し、前記第1の電極と第2の電極の間に発生する電圧を検出する素子を複数含み、各素子の電圧を検出する電極が直列に接続され、少なくとも1つの素子の電流が他の素子と逆方向に流れるように各電極が接続されていることを特徴とする磁界センサー。

(10) 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーとして請求項1～7のいずれか1項記載の磁界センサーを用いたことを特徴とする磁気ヘッド。

【0018】(11) 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第1の磁性膜と、前記第1の磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記第2の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第2の磁性膜と、前記第2の磁性膜上に形成された第3の電極膜とを備え、前記第1の磁性膜と第2の磁性膜に媒体対向面に略平行な方向の同一方向の電流を流し、前記第1の電極膜と第3の電極膜の間に発生する電圧を検出することを特徴とする磁気ヘッド。

(12) 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置された磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第1の磁性膜と、前記第1の磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記第2の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す第2の磁性膜と、前記第2の磁性膜上に形成された第3の電極膜とを備え、前記第1の電極膜と第3の電極膜の間に電流を印加し、前記第1の磁性膜と第2の磁性膜に発生する媒体対向面に逆平行な方向の電圧を合成して検出することを特徴とする磁気ヘッド。

【0019】(13) 下部磁気シールドと上部磁気シールドからなる一対の磁気シールドと、前記一対の磁気シールド間に配置され媒体対向面に露出した位置から素子高さ方向に伸び磁界を内部に導く磁気ヨーク膜と、磁界センサーとを含む磁気ヘッドにおいて、前記磁気センサ

一は、第1の電極膜と、前記第1の電極膜上に形成された異常ホール効果を示す磁性膜と、前記磁性膜上に形成された第2の電極膜と、前記磁性膜の膜面方向に互いに離間した2つの領域にそれぞれ接続された第3及び第4の電極とを備え、前記磁気ヨーク膜の媒体対向面より後退した位置で前記磁気ヨーク膜の切断部に配置されていることを特徴とする磁気ヘッド。

(14)(11)、(12)又は(13)記載の磁気ヘッドにおいて、前記磁界センサーは、媒体面に平行な方向の長さが媒体面に垂直な方向の長さより長いことを特徴とする磁気ヘッド。

【0020】(15)情報を記録する磁界センサー膜と、磁界センサー膜に接続したビット線と、磁界センサー膜から離れた位置にあって磁界センサー膜を挟んでビット線と対向し、かつ、ビット線に直交し、磁界センサー膜に対して記録動作を行うワード線と、記録信号を増幅する増幅系と、読み出し書き込みのスイッチを行う読み出しワード線とを備えたセルが複数個並列している構造を持つ磁気記憶素子において、磁界センサーが異常ホール効果を示す強磁性膜を含む前記(1)～(9)のいずれか1項記載の磁界センサーであることを特徴とする磁気記憶素子。

【0021】上記磁界センサー及び磁気ヘッドは、異常ホール効果を示す磁性膜の両脇に永久磁石材料からなる、バルクハウゼンノイズを抑制するための磁区制御膜を配置するのが好ましい。本発明の磁気ヘッドは、磁気ディスクに記録再生を行う磁気記録再生装置に組み込むことができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【実施の形態1】図2は、従来の薄膜ホール素子、ホール効果を用いた薄膜磁界センサーの形態を示す模式図である。これは、膜面内の一方方向201に電流を印加し、膜厚方向202に磁界が加わった場合に、201、202の両方向と直交する203方向に起電力が生じる現象を応用したものであり、膜面に印加された磁界強度が起電力として測定される磁界センサーを構成するものである。このような素子を構成する材料は、磁界-電圧特性の関係が広い磁界範囲で比例関係であるGaAs、InAs、InSbなどの非磁性半導体が報告され、広く実用化されている。

【0023】これに対し、本発明による磁界センサーは、例えば図3に示すような構成を有する。この例の磁界センサーは、センサー膜(異常ホール効果を示す強磁性体を含む膜)305を2枚の電極304、306で挟んだ構造を有し、膜厚方向302に電流を流した状態で面内方向303に磁界を印加したときに、膜面内方向301に発生する出力電圧を感知するものである。センサー膜を構成する材料は、強磁性体あるいは反強磁性を含

む磁性膜を含む膜により構成された膜であり、構成材料の詳細は後述する。

【0024】また、図4は、本発明による磁界センサーのもうひとつの構成例を示す図である。この例の磁界センサーは、センサー膜(異常ホール効果発生する強磁性体を含む膜)405を2枚の電極404、406で挟んだ構造を有するが、膜の面内方向401に電流を流しながら、これと直交する面内方向403に入った磁界に対して402の膜厚方向に発生する電圧を感知するものである。センサー膜としては、強磁性体あるいは反強磁性を含む磁性膜を含む膜を用いる。図3に示した磁界センサーも、図4に示した磁界センサーも、膜断面部分から磁界が侵入する形状である。

【0025】図5に、図3にて説明した磁界センサーの媒体面に対向する面側の素子構造例を示す。また、図6に素子を媒体面の直上から見た構造例を示す。図5を参照すると、基体501上に電極膜502を例えばAr雰囲気中のスパッタリング法で形成し、さらにセンサー膜503を形成する。基体となる材料は、半導体単結晶(GaAs、Si、ドーパ半導体(InGaAs)、InP等)、単結晶(MgO、サファイアなど)、ガラス、シリコン酸化物、セラミック等である。基体501がガラス、酸化物、セラミックの場合、基体上に絶縁膜を形成し、これを化学機械研磨(CMP)する方法で平坦化し、この上に磁性体からなるシールド膜を形成したものを基体とした。さらにこれを平坦化するための方法としては、クラスター状イオンを基板面に照射することで膜面を平坦化する処理を施すことによって膜面の平坦性は面粗さ0.1nm程度に低減することが可能であり、これを用いた基板も素子作製の結果有効であった。単結晶基板は上述の表面処理あるいは、真空中で300℃から600℃に基板温度を昇温する加熱処理を施すことで清浄かつ平坦な表面を形成して用いた。センサー膜の作製方法は、例えばスパッタリング法、イオンビームスパッタリング法、MBE、CVDあるいはめっき法を採用することができる。材料に対する詳細は後述する。また、このときの基板温度は、材料によって室温から数100℃の範囲の適当な温度を適宜設定して用いた。例えばFe-NやMnGaAsなどは、基板温度250℃で、CrAsは200℃の温度で作製した。

【0026】このセンサー膜を所定の大きさ、形状にレジストマスクでパターンニングし、他の部分にイオンミリング等の除去手段を施した後、レジストを剥離した。例えばこのセンサー膜上にリフトオフパターンを形成した後、その膜の周辺部分に絶縁膜504/電極膜505/絶縁膜506からなる膜を同様に形成する。この絶縁膜にはAl₂O₃あるいはSiO₂を用いた。更に、この上に電極膜507を形成した。電極膜505は、例えばAuからなり、センサー膜503の膜面上で接触しているも、センサー膜の断面部分で接触しているも、あるいは

は、その両方で接触していても、センサー膜上下の電極膜502、507に対して絶縁されていればよい。これら4本の電極の引出し方法は、例えば図6に示されるような形態である。電極材料には、Auのほか例えばCu、Ru、Cr、Ta/Au/Ta、Alなどを用いることができる。この磁界センサーは、電極502、507から膜厚方向に電流を流し、508方向に磁気信号が入るとき電極505、505の間に発生する電圧を出力として感知する。

【0027】図4に示したセンサー構造についても、素子形状としては例えば上述の形を用い、材料としてもほぼ同様なものを使用して構成される。この場合、電極505、505から膜面内に電流を流し、508方向に磁気信号が入るとき電極502と電極507の間に発生する電圧を出力として感知する構造である。

【0028】本実施の形態の素子構造と入射電流に対する出力電圧との関係は、例えば図3の構造で、素子の基体上の形状が $2.0\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m}$ であり、膜厚 dy が $0.2\mu\text{m}$ の場合、電流 I を膜厚方向に流すと、素子の電流が流れる部分の面積が $S = (2.0\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m})$ 、センサー膜の材料として例えば R_s が 10^{-10}V cm/AG （ボルトセンチメートル/アンペアガウス）の材料を用いた場合、出力電圧 ΔV_h （V）は次のようになる。

【0029】 $\Delta V_h = R_s \cdot dy \cdot I \cdot M(H) / S$ すなわち、ある出力 ΔV_h のとき、これを得るために必要な電流は

$$I = \Delta V_h \cdot S / R_s \cdot dy \cdot M(H)$$

但し、磁界は、媒体記録部から約10nm浮上した位置の磁束密度 $M(H)$ の値10000Gと仮定すると、

$$I = \Delta V_h \cdot S \cdot 10^{-4} / R_s \cdot dy$$

となる。電流値は、最大でも1mAしか流せないと仮定すると、素子面積が $1\mu\text{m}^2$ の場合、 ΔV_h は2mV以下になる。この値は測定可能な値である。したがって、 R_s が 10^{-10}V cm/AG であれば、出力として測定可能な値となる。素子が、EBリソグラフなどを用いた現状の技術で約一桁小さくすることが可能であることから、 R_s が 10^{-11}V cm/AG 以上であれば、素子出力を得る上では妥当な値である。

【0030】さらに、この出力電圧 ΔV_h を大きくする方法は、（1）電流値を高くするか（2）素子サイズ（ S ）を小さくする、（3）高磁化材料の適用、（4）高 R_s の材料探索あるいは、（5）膜厚 dy を大きくすることで、2桁以上大きい値の素子を作製することが可能である。これらの素子における出力は、素子構造が同じ場合に、材料を変えた場合には個々の R_s 、 M_s を用いて上記に示す式によっておおよそ計算される値になる。

【0031】これに対し、図4に示した素子構造、すなわち、電流を面内に、出力端子を膜厚方向にとった場

合、膜厚 dy が $0.2\mu\text{m}$ かつ、 R_s が 10^{-10}V cm/AG の場合、素子の電流が流れる部分の面積は $0.5\mu\text{m} \times 0.2\mu\text{m}$ となり、出力電圧 ΔV_h （V）は次のようになる。

$$\Delta V_h = R_s \cdot 2.0(\mu\text{m}) \cdot I \cdot M(H) / S = 5 \times 10^{-4} \cdot I$$

【0032】図3の素子構造の場合と単純比較すると ΔV_h は小さくなるが、素子の膜厚を50nmとして計算することも可能であり、この場合には、 ΔV_h は 8×10^{-4} （V）で、1Vの出力を得るために必要な電流は125mAである。さらに、 R_s が 10^{-9}V cm/AG では12.5mAと一桁小さくなり、電流に対する出力値としては妥当な値となる。よって、 ΔV_h は、 R_s が十分大きいときか、あるいは、センサー膜厚がより薄く、幅が狭い場合に大きい値をとる効果が生じるため、単位電流に対する出力は、これらの方法によって向上する可能性がある。従って、センサー膜の形状はできる限り薄くすることと、膜上面からの形状として電流パスがなるべく長くなるような形状が有利である。具体的には、上述したようなサイズにおいては、 R_s は 10^{-10}V cm/AG 以上であれば、センサーとして必要な条件になると考えられる。

【0033】面内の磁化の回転に必要な磁界は、膜の結晶磁気異方性と、形状で調整することが可能である。軟磁性膜では、形状による効果は、回転楕円体モデルをもちいて近似的に見積もることができる。特に、結晶磁気異方性の困難軸方向に長い形状にすることで、困難軸方向に安定点をつくることが可能である。形状として、1:2以上の長辺/短辺比をとると、これらは顕著に変化する。上記の異方性と、出力計算から、1:3以上の長辺/短辺比をもつ素子では、出力および磁化の調整が容易な膜が作製されるといえる。

【0034】センサー膜を構成する材料としては、例えば、（1） Fe_3N_2 、（2） MnAs-GaMnAs 、（3） CdMnTe 、（4） InMnAs 、（5） $\text{ZnO} + (\text{Mn}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Ti})$ のいずれかひとつ以上）、（6） ZnCoO 、（7） CrAs 、（8） LCMO 、 LSMO 等の強相関電子系材料又は、Mnを含む反強磁性体膜、グラニュー構造をもつ磁性体からなる膜を用いることができる。

【0035】（1）の膜は、以下のように作製される。超高真空蒸着装置（MBE）中で、 200°C に昇温した $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ （001）単結晶基板上にアンモニア20%を含む窒素ガス中でFeを0.01~0.02オングストローム毎秒の速度で蒸着することで作製される。基板は、 $\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 1 : 1 : 3$ からなる液に10秒ほど浸漬し、水洗後、真空中で基板ホルダー裏面温度 640°C に加熱し、RHEEDにより表面が清浄面であることを確認した。この材料は、室温での飽和磁化が3.0テスラ、電気抵抗が $32\mu\Omega\text{cm}$ で

あった。さらに、ファンデアハウの方式でホール効果を測定したところ、 RA は温度上昇にしたがって増加し、室温で約 $2 \times 10^{-11} \text{ V cm/AG}$ の異常ホール定数となった。これは、純 Fe の3~4倍である。同様の反応性蒸着法を使って、3d金属系の強磁性金属と窒素や炭素、酸素を反応させた化合物を形成することができる。例えば、鉄と窒素からなる Fe-N マルテンサイト ($\text{N: } 5-11 \text{ アトミック\%}$)でも約 $1.0 \times 10^{-11} \text{ V cm/AG}$ となる。

【0036】(2)から(3)の膜は、MBE法を用いて超高真空中で GaAs (001) 面上に形成される。

(2)について GaAs に Mn を5%程度ドーブした化合物膜(最大膜厚約200nm)は、基板上に直接成長すると磁化容易軸が膜面内であるが、 InGaAs などを含むバッファ層を挟むと垂直に容易軸を持つ膜にすることができる。この膜は、現状では100K以下の低温でのみ異常ホール抵抗が $6 \times 10^{-8} \text{ V cm/AG}$ (40K)、150Kでは、これより1-2桁ほど小さい値となる。また、(3)は CdTe に2%程度の Mn をドーブした CdMnTe は磁性半導体の性質を低温で示す。

【0037】(4)から(7)までの膜はイオンビーム法あるいはMBE法で作製することが可能である。ただし、これらの系の特徴的な結晶構造である閃亜鉛型構造を形成するためにはMBE法を用いた成膜がよい。

(4)の InMnAs は InAs に Mn をドーブしたもので、真空中で GaAs 基板上や InAs 基板上に基板温度 $500^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ でのスパッタリング法、イオンビーム法で作製する。半導体の不純物によってp型とn型をとるが、p型のものは低温で強磁性となり異常ホール効果を持つ。 R_s は、 10^{-11} V cm/AG の範囲である。(5)はワイドギャップ型の半導体といわれる ZnO に遷移金属をドーブしたものである。第一原理による理論計算では Mn をドーブすると反強磁性や強磁性を示し、 V 、 Cr 、 Fe 、 Co 、 Ni をドーブすると常磁性となることが報告されている。 GaN に Mn をドーブするものも強磁性を示す可能性があるとされている。これらのうち顕著な例として、(6) ZnCoO は室温でも強磁性を示し、異常ホール定数を持つ。(7)の CrAs は GaAs (100)上にエピタキシャル成長し、室温で強磁性体である。この他、 MnSb も、直径100nm程度のグラニュー構造を薄膜状態で形成したものについては室温で強磁性を示すことが確認されており、異常ホール定数も本発明の範囲のものが得られる。

(8)は組成、温度により強磁性、反強磁性、超伝導を取りうるものである。特に反強磁性体と強磁性体を発現する組成付近で、スピンの揺らぎが大きく、異常ホール効果が大きくなる領域(例えば $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ 、 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$)が存在する。さらに、例えば(3)の膜を GaAs と MnGaAs との薄膜を多層にしたものについても同様の特性を示す。

【0038】異常ホール効果のホール定数 R_s は、近藤理論によれば磁化の揺らぎの3乗依存性をもつため、特にスピンの揺らぎが大きくなる状態になると異常ホール定数自体が大きくなる。上記のほとんどの場合で、電子のクーロン相互作用が特異的に大きくなっていたり(強相関電子状態)、強制的にスピン間の相互作用が弱められている状態になっており、異常ホール定数を大きくしていると考えられる。この、材料を薄膜化、微細化した場合、電子数に関するスケーリング則が成り立たなくなり、スピンの揺らぎが大きくなると予想される。実際、同様にスピン揺らぎを大きくするために高温にしたときの異常ホール効果は図7に示すように大きくなることを確認している。異常ホール定数は、図7に示すように、 RT (room temperature)において、温度が高くなると上昇する場合が多い。特に、上記材料のうち、(1)(5)(6)(7)はこのパターンを示す。それ以外の材料は図7のピークが室温よりも低い温度にあるため、低温での異常ホール係数値が大きいものとなる。

【0039】[実施の形態2] 図3あるいは図4の構造を持つ2つ以上の、同形、同サイズの素子の出力端子を直列に配し、少なくとも一つの電流導入端子の極性を他と逆方向に流れるようにした素子を作製した。

【0040】図8はこの一例を示すもので、図3の構造をもつ同構造、同サイズ、同型の磁界センサーを2個配置し、面内の出力端子(301)を直列に配置し、電流端子(302)は膜厚のそれぞれ逆向きで直列に電流802が通るように配置したセンサーの原理図である。センサー膜の材料は実施の形態1において述べたものと同様である。また、素子の構造としてみれば電流端子の一端が逆向きに接続されるだけであり、同一基板上に形成する場合は容易に形成することができるので、素子の詳細な製造工程の説明は省略する。

【0041】この構造を持つ磁界センサーは、その設置される状況により機能が異なると考えられる。一例では、測定したい磁界を擾乱する磁界が外界に存在する場合で、一方の素子を測定したい磁界のある場所に置き、他方の素子を測定したい磁界を擾乱する磁界が存在する場所に置くと、擾乱する磁界による異常ホール電圧出力成分を相殺して測定したい磁界のみを検出することのできる磁界センサーとなる。すなわち、測定したい磁界のある場所に置かれた素子は、測定したい磁界に擾乱磁界が重畳した磁界803を検出する。他方、測定したい磁界を擾乱する磁界が存在する場所に置かれた素子は、擾乱磁界804を検出する。その結果、磁界センサーの出力電圧801は磁界803から擾乱磁界804を差し引いた測定したい磁界の強度を指示することになる。

【0042】この磁界センサーの使用法の一例を説明すると、磁気ヘッドのセンサー部に一つのセンサー膜を配置し、センサー部分から離れた位置にもう一つのセンサーを配置するような使用法である。この磁界センサー

は、例えば地磁気や再生したい磁気記録部分以外の記録部分による平均的外場の影響を差し引いて磁界を測定したい場合に有効である。

【0043】図9に、同形、同サイズの2個のセンサー膜を用いた磁界センサーの他の構造例を示す。図9に示した磁界センサーは、間に電極膜を挟んで積層した2枚のセンサー膜903、903を更に一对の電極膜904、904で挟持した構造を有する。異常ホール効果を発生する強磁性体を含む2枚のセンサー膜903、903の膜面方向に電流901を印加し、外部磁界との相互作用によって膜厚方向に発生する異常ホール電圧902を直列的に検出する。

【0044】2枚のセンサー膜903、903を磁気ディスクの記録トラック幅よりも小さい幅で配置し、この磁界センサーを磁気ディスクの再生ヘッドとして用いると、出力信号を微分的に得ることができる。

【0045】センサー膜903、903に同じ方向に電流を流した場合について以下述べる。この磁界センサーを磁気ディスクの再生ヘッドに適用した場合、素子の厚さが記録部分の幅よりも小さいとき、媒体面に垂直に記録磁化907がある垂直磁気記録媒体905を再生した場合の出力（ホール電圧）は出力波形908aに示すような場所依存性を示し、媒体面内に記録磁化がある面内磁気記録媒体906を再生した場合には出力波形908bに示すような場所依存性を示す。電流901の方向を逆に取ると、垂直磁気記録媒体905に対する出力は波形908bに示した場所依存性となり、面内磁気記録媒体906に対する出力は波形908aに示した場所依存性となる。このように本実施形態の磁界センサーは、面内記録媒体に対しても、垂直記録媒体に対しても、再生ヘッドとして使用することが可能である。

【0046】【実施の形態3】本発明の磁界センサーを磁気ヘッドに応用した場合の例について説明する。磁界センサーに用いる異常ホール効果を発生する磁性体を含む膜は、例えば図6に示すような膜構造をもち、例えば実施の形態1にて提示した構造をもち、膜厚はヘッド応用と実用的出力のために、膜厚1nmから100nmの適当な膜厚とした。本実施例の場合、膜厚15nmの膜を用いた。

【0047】これらの磁界センサーを用いた磁気ヘッド構造は、インギャップタイプとよばれるセンサーがシールド間に挟まれた構造が、媒体対向面に露出した形状のヘッド構造であっても、ヨーク構造と呼ばれるセンサーが露出せず、例えばアルファベットのC文字型形状の軟磁性体からなるヨークの奥にセンサーを配置したヘッド構造でも、（1）電極をシールドと兼用したもの、

（2）電極とシールドとを分離したものに大別され、さらに、それぞれについて、（A）磁区制御のある構造、（B）磁区制御無しの構造が考えられる。

【0048】図10に、上記の（1）電極をシールドと

兼用したインギャップ形状の素子の媒体対向面の模式図を示す。膜形成後に感磁部となる場所（例えば下部シールド兼電極膜面1001上）にリフトオフ材料を塗布し、形成した後、イオンミリング法などの方法でこれらのセンサー膜（異常ホール効果発生する強磁性体を含む膜）1005をエッチングする。エッチング後に絶縁膜1002／電極膜1006／絶縁膜1007を膜形成し、リフトオフマスクを除去する。

【0049】このほか、CoCrPt、CoCrPtZrO₂などによってなる磁区制御膜1003を絶縁膜1002と電極膜1006の間か、絶縁膜1004の下あるいは上につけると、よりセンサー膜の磁区挙動によるノイズを防ぐことができるため、磁界測定精度を高めることができる。ここでCrやTaなどの適当な下地上に磁区制御膜1003を形成すると磁区制御膜の特性に關し有効である場合があった。この後、磁区制御膜、センサー部の素子高さ方向のパターンを形成し、周囲の部分をイオンミリングで除去し、この上に保護絶縁膜1007として例えばAl₂O₃とSiO₂の混合膜を100nm形成し、上部シールド膜兼電極膜1008を形成する。

【0050】図11に、上記（2）の電極とシールドを分離したインギャップ形状の素子の媒体対向面の模式図を示す。この場合、例えば下部シールド1101を形成後、リフトオフパターンで周囲を掘り込み、そこに磁区制御膜1103を形成し、CMPで平坦化した上にギャップ絶縁膜1104を形成し、電極膜1105、センサー膜1106を形成し、素子形状に加工して、周囲に絶縁膜1107を形成し、素子部分にリフトオフパターンを形成して、このうえに横からの電極膜1108、絶縁膜1109を形成し、リフトオフパターンを剥離した後上部電極1111、絶縁膜1109（上部ギャップ膜1110）上部シールド1112形成という手順で作製することができる。1102は絶縁膜である。

【0051】図12は、代表的なヨーク構造と、磁区制御膜を模式的に表した立体図である。1208の矢印は素子の各方向を示し、1209はトラック幅方向、1210は膜厚方向、1211は素子高さ方向を示す。

【0052】図示の構造は、媒体に対向した面に磁気センサー膜1205が露出しない構造をとっている。ここで、図に示すNi₄₉Fe₅₁からなる下部磁気シールド1203と上部磁気シールド1207に挟まれたギャップに、同様の軟磁性材料からなるヨーク膜が挟まれた構造を作製した。ヨーク膜は、図12では上部ヨーク1206と下部ヨーク1202が接合したCリング形状になっている。このほかにも、下部ヨークを先端で絞った形式や、厚膜にした形式、ヨークが磁界センサー下で不連続になっている構造がある。図中、磁区制御膜として1201が示されている。これによって、少なくとも下部のヨーク1202と磁気センサー膜1205は磁区制御さ

れ、かつ、周囲の分流は無い。この磁区制御膜1201の構造としては、上下ヨーク膜と磁気センサー膜を同時に磁区制御する形式と、それぞれを磁区制御する構造のいずれでも分流の無い、良好な磁区制御が可能である。

【0053】図12にはヨーク構造の磁区制御膜の位置を簡略に示したが、実際には、図10あるいは図11のような構造に作製される。また、図13あるいは図14に示すように、磁気センサー膜にセンスされる磁束の量を増すために、ヨークのセンサー膜に接する部分を不連続にした構造でも、磁区制御膜の材料を高抵抗膜にすることによって、磁区制御膜を形成する事が可能である。これらの磁界センサーは、半導体をセンサー膜として使用した場合に比べて、センサー膜の透磁率が1000倍程度になるために、媒体からの磁界を効率良く活用することが可能である。

【0054】本構造ではセンスする磁界はセンサー膜の面内方向に印加される成分であることから、垂直磁気記録されたものであれば、記録の漏洩磁界、また、面内記録されたものでは記録端部の漏洩磁束をセンスする構造を作ることができる。

【0055】本実施の形態では上記記載の磁気センサー膜を用い、再生シールド間隔（ギャップ間距離）が80nm以下でも磁気抵抗変化膜と磁区制御膜の導通による再生特性の劣化は認められなかった。

【0056】〔実施の形態4〕図15は、本発明による磁気ヘッドを用いた磁気ディスク装置の一例を示す模式図である。この磁気ディスク装置は、同心円状のトラックとよばれる記録領域にデータを記録するための、ディスク状に形成された磁気記録媒体としての磁気ディスク1501と、磁気トランスデューサーからなり、上記データの読み取り、書き込みを実施するための本発明による磁気ヘッド1506と、磁気ヘッド1506を支え磁気ディスク1501上の所定位置へ移動させるアクチュエーター手段1511と、磁気ヘッドが読み取り、書き込みするデータの送受信及びアクチュエーター手段の移動などを制御する制御手段1505とを備える。少なくとも一枚の回転可能な磁気ディスク1501は回転軸1502によって支持され、駆動用モーター1503によって回転させられる。少なくとも一個のスライダ1509が磁気ディスク1501上に設置され、スライダ1509は本発明による磁界センサー1510を支持している。

【0057】磁気ディスク1501が回転すると同時に、スライダ1509がディスク表面を移動することによって、目的とするデータが記録されている所定位置へアクセスされる。スライダ1509は、ジンバル1507によってアーム1508にとりつけられる。ジンバル1507はわずかな弾力性を有し、スライダ1509を磁気ディスク1501に密着させる。アーム1508はアクチュエーター1511に取り付けられる。

【0058】アクチュエーター1511としてはボイスコイルモーター（以下、VCMという）を用いる。VCMは固定された磁界中に置かれた移動可能なコイルからなり、コイルの移動方向及び移動速度等は、制御手段1505からライン1504を介して与えられる電気信号によって制御される。したがって、本実施例によるアクチュエーター手段は、例えば、スライダ1509とジンバル1507とアーム1508とアクチュエーター1511とライン1504を含み構成されるものである。

【0059】磁気ディスクの動作中、磁気ディスク1501の回転によってスライダ1509とディスク表面の間に空気流によるエアベアリングが生じ、それがスライダ1509を磁気ディスク1501の表面から浮上させる。したがって、磁気ディスク装置の動作中、本エアベアリングはジンバル1507のわずかな弾性力とバランスをとり、スライダ1509は磁気ディスク表面にふれずに、かつ磁気ディスク1501と一定間隔を保って浮上するように維持される。

【0060】通常、制御手段1505はロジック回路、メモリ、及びマイクロプロセッサなどから構成される。そして、制御手段1505は、各ラインを介して制御信号を送受信し、かつ磁気ディスク装置の種々の構成手段を制御する。例えば、モーター1503はライン1504を介し伝達されるモーター駆動信号によって制御される。アクチュエーター1511はライン1504を介したヘッド位置制御信号及びシーク制御信号等によって、その関連する磁気ディスク1501上の目的とするデータトラックへ選択されたスライダ1509を最適に移動、位置決めするように制御される。

【0061】そして、データ再生／復号系1512は、磁気ヘッド1506が磁気ディスク1501のデータを読み取り変換した電気信号を、ライン1504を介して受信し解読する。また、磁気ディスク1501にデータとして書き込むための電気信号を、ライン1504を介して磁気ヘッド1506に送信する。すなわち、データ再生／復号系1512は、磁気ヘッド1506が読み取り又は書き込みする情報の送受信を制御している。また、制御信号として例えばアクセス制御信号及びクロック信号などがある。さらに、磁気ディスク装置は複数の磁気ディスクやアクチュエーター等を有し、アクチュエーターが複数の磁気ヘッドを有してもよい。このような複数の機構を兼ね備えることによって、いわゆるディスクアレイ装置を形成することが可能である。

【0062】〔実施の形態5〕図16は、本発明の磁界センサーを用いたMRAM構造の磁気記憶素子の一例を示す模式図である。図示したMRAM構造は、情報を記録する磁界センサー1606と、磁界センサーに接続し素子に電流を流す線1609と、センサー膜と接続し、該1609からの電流に対し、略平行な方向に端子を持って、出力電圧信号を伝えるビット線1607と、セン

サー膜1606を挟んでビット線1607と対向した位置の、センサー膜1606から離れた位置にあって、かつ、ビット線に直交し、センサー膜に記録動作を行うワード線1605と、記録信号を増幅する増幅系1601、1602、1603、1604、1610と、読み出し、書き込みのスイッチをおこなう読み出しワード線1611を備えたセルが、複数個並列している構造を持つ。この磁気記憶素子は、磁界センサー1606を構成する膜として、発明の実施の形態1に示すような異常ホール効果をもつ磁性体を含む磁界センサーを適用したものである。

【0063】はじめに、MRAMの動作原理を示すため、センサー膜にMR膜を用いた場合の一例を図17に示す。磁界センサー膜の磁化ベクトルを駆動するために必要な駆動線として、銅線からなる互いに直交した配線を設ける。これを、それぞれワード線1705、ビット線1707と称する。一般的には、磁界センサー膜1706の磁化容易軸と平行に配置されている線をワード線、そして、ワード線と直交する線をビット線と定義する。このとき膜中の磁化ベクトルは磁化容易軸に平行に(1)か(0)の抵抗値の異なる状態をとる。この抵抗の異なる状態は、通常のMRAMでは、(A)膜面内の一方と、膜厚方向が磁化容易軸になるような構造を持ち、電流と磁界の方向との関係が平行と直交になるような構造か、あるいは、(B)センサー膜がGMRのSV膜のような二枚の磁性膜からなり、両者の磁化方向が平行状態と直交状態をとりうるような構造で実現される。ワード線およびビット線は、電流が流れることで周囲に磁界が発生し、ワード線とビット線に挟まれたセンサー膜に作用する磁界を発生する。ワード線にパルス電流を流すときその立ち上がり時をタイミングとして情報を信号として取り出す。また、パルスの立下り時を契機にビット線を流して書き込みを行うものである。ワード線の電流は、センサー膜における作用磁界が薄膜の異方性磁界を超える電流で、ビット線の電流は磁性センサー膜の保磁力の1/2を越える程度の磁界を発生させるために必要な電流である。

【0064】ここで、ワード線に必要な電流を流し、その線の下にあるすべてのセンサー膜に磁界を印加する。このときセンサー膜の磁界は面内の磁化困難軸方向を向くことになる。このとき磁化の状態が平行(1)の状態から回転したか、直交(0)の状態から回転したかで各ビット線にはそれぞれ異なった極性のパルス電圧が誘導される。これが、読み出し電圧となる。また、記録時はワード線のパルス電流の立下りとタイミングをあわせてビット線にパルス電流を流し、磁化が困難軸を向いた状態で、ビット線からの磁界で磁化の向きを決定し(1)や(0)の状態を記録する。

【0065】ここで図16に戻り、CMOS用半導体基板1601として、GaAs基板を用い、この上にp

型、n型となる不純物をドーピングし、さらに両ドーピング領域に挟まれた部分に電極(ゲート膜)1610を設けてトランジスタ(MOSTランジスタ)を形成する。このトランジスタを形成するドレイン側を1602、ソース側を1603とした。このトランジスタのスイッチ動作により、ワード線やビット線に流れるパルス電流の動作が決定する。

【0066】ここで、このセンサー膜に本発明による異常ホール素子膜を適用し、膜面内に電流が流れるように電極を配置し、センサー膜の磁化容易軸が面内で90°離れた位置にあり、磁化が電流に対して平行と直交の状態をとりうるため、MRAMの挙動を示す。ただし、困難軸との磁気異方性を調整するため、素子形状を例えば、困難軸方向に異方的に伸ばす等することが必要な場合もある。

【0067】そうすると、電流は膜面垂直方向に流れるか、あるいは膜面の一方方向に流れるので、同様の磁界センサーとして使用できる。また、磁界センサー素子の大きさは一辺が0.2~0.25μmである。IBMによるTMRをセンサー膜に用いた構造では、消費電力5mW(読み出し)、40mW(書き込み)、書き込み時間が10ns、読み出し時間が10ns程度で、セル面積が49F²のセンサが作成されているが、異常ホール効果膜をこの構造に適用すれば、速度等は同程度で、さらにセンサー膜の抵抗値を低減できるため、消費電力が低く押さえられる可能性がある。このセンサー膜の磁化方向を回転させる時に、磁区が発生すると、磁界に対する抵抗値が変動し、S/Nが低下するために、記憶が読み出せなくなる。これを制御性良く行うためには磁区制御膜を必要とする。この磁区制御膜を1606の磁界センサーの両端に位置することにより、磁区制御膜への分流失失無しに磁区制御することが可能である。

【0068】

【発明の効果】本発明によると、異常ホール効果を磁界センサー、磁気ヘッド、記憶素子のセンサー部、磁気記録再生装置として利用することができ、素子サイズが小さい場合でも高い出力が期待できる。異常ホール効果自体が素子が小さくなったときに出力増大する傾向があり、高密度記録に対応する上で有効である。また、本発明の磁界センサーは、媒体の記録方式によらずヘッドとして活用できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】一般的な半導体のホール電圧の磁界依存性を、異常ホール効果の場合と併せて示した図。

【図2】従来のホール効果をを用いた薄膜磁界センサーの電流、磁界、出力の関係を示す構造図。

【図3】本発明による異常ホール効果をを用いた薄膜磁界センサーの電流、磁界、出力の関係の一例を示す構造図。

【図4】本発明による異常ホール効果をを用いた薄膜磁界

センサーの電流、磁界、出力の関係の他の例を示す構造図。

【図5】本発明による磁界センサーの一例を媒体対向面側から見た断面模式図。

【図6】本発明による磁界センサーの一例を膜面上方から見た図。

【図7】異常ホール効果の温度依存性を示す図。

【図8】本発明による異常ホール効果を用いた薄膜磁界センサーの他の例の電流、磁界、出力の関係を示す構造図。

【図9】本発明による再生ヘッドの他の例の構造図、及び媒体の磁気記録状態とVhの場所依存性を示した図。

【図10】本発明によるインギャップ型の異常ホール効果を用いた磁気ヘッドの構造例を示す媒体対向面側の構造図（電極とシールドが兼用の場合）。

【図11】本発明によるインギャップ型の異常ホール効果を用いた磁気ヘッドの構造例を示す媒体対向面側の構造図（電極とシールドが別の場合）。

【図12】ヨーク構造の例を示す図。

【図13】ヨークと磁界センサーとの位置関係の一例を示す図。

【図14】ヨークと磁界センサーとの位置関係の他の例を示す図。

【図15】磁気記録再生装置の構造と動作の模式図。

【図16】本発明による磁気センサーを用いたMRAMの構造の模式図。

【図17】センサー膜にMR膜を用いたMRAMの模式図。

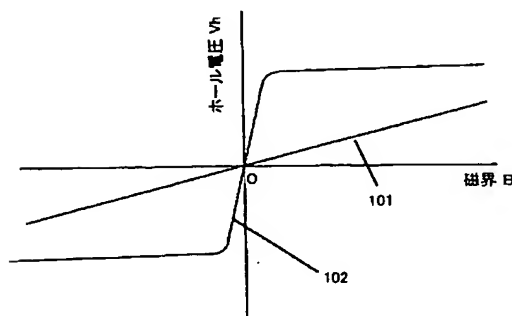
【符号の説明】

101：（正常）ホール効果、102：異常ホール効果、201：電流印加方向、202：磁場印加方向、203：ホール電圧、204：半導体膜、301：異常ホール電圧、302：電流印加方向、303：磁場印加方向、304：電極、305：センサー膜、306：電極、401：電流印加方向、402：異常ホール電圧、*

* 403：磁場印加方向、404：電極、405：センサー膜、406：電極、501：基体、502：電極、503：センサー膜、504：絶縁体、505：電極、506：絶縁体、507：上部電極、508：磁界印加方向、801：異常ホール電圧、802：電流印加方向、803：磁界印加方向、804：磁界印加方向、901：電流印加方向、902：異常ホール電圧、903：センサー膜（異常ホール効果発生する強磁性体を含む膜）、904：電極、905：磁気記録媒体（垂直記録）、906：磁気記録媒体（面内記録）、907：磁化の方向、908a、908b：ホール電圧（出力）、1001：下部シールド兼電極膜、1002：絶縁膜、1003：磁区制御膜、1004：絶縁膜、1005：センサー膜、1006：電極膜、1007：絶縁膜、1008：上部シールド兼電極膜、1101：下部シールド、1102：絶縁膜、1103：磁区制御膜、1104：絶縁膜（ギャップ膜）、1105：下部電極膜、1106：センサー膜（異常ホール効果発生する強磁性体を含む膜）、1107：絶縁体、1108：電極膜、1109：絶縁膜、1110：絶縁膜（上部ギャップ膜）、1111：電極膜、1112：上部シールド膜、1201：磁区制御膜、1202：下部磁気ヨーク、1203：下部磁気シールド、1205：磁気抵抗センサー膜、1206：上部磁気ヨーク、1207：上部磁気シールド、1501：磁気ディスク、1502：回転軸、1503：モーター、1504：ライン、1505：制御手段、1506：磁気ヘッド、1507：ジンバル、1508：アーム、1509：スライダ、1510：磁界センサー、1511：アクチュエーター、1512：制御手段、1601：CMOS用半導体基板、1602：ドレイン膜、1603ソース膜、1604：ゲート膜、1605：ワード線、1606：磁界センサー（異常ホール効果）膜、1607：ビット線、1608：導電部、1609：電流印加線、1610：ゲート制御電圧印加用電極、1611：読み出しワード線

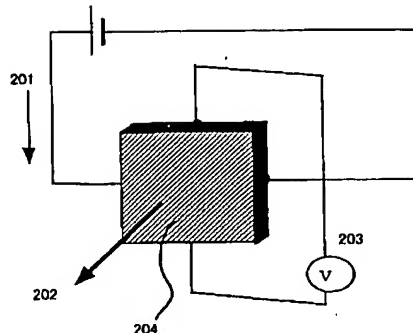
【図1】

図1



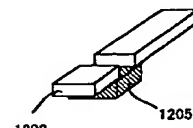
【図2】

図2



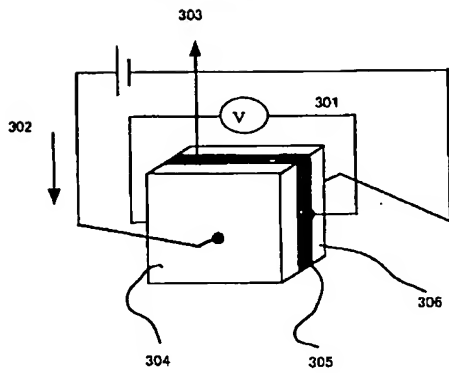
【図14】

図14



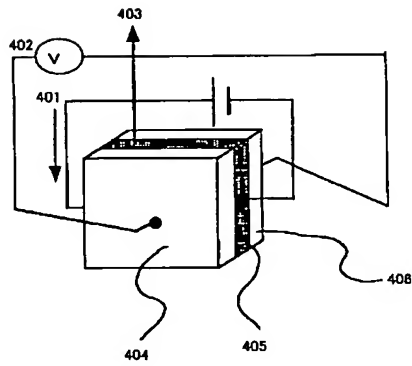
〔図3〕

図3



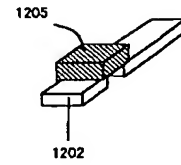
〔図4〕

図4



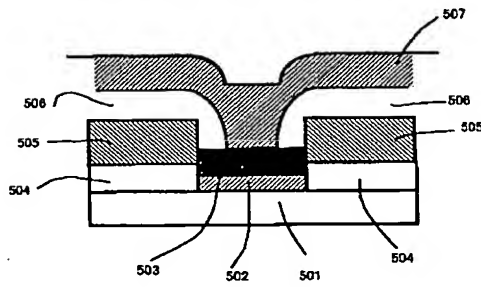
〔図13〕

図13



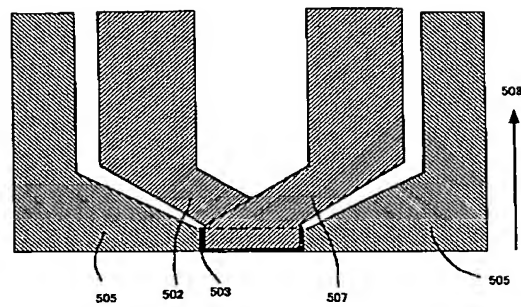
〔図5〕

図5



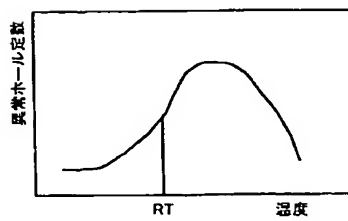
〔図6〕

図6



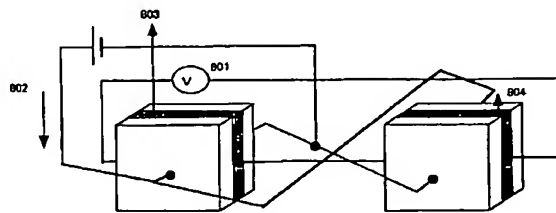
〔図7〕

図7

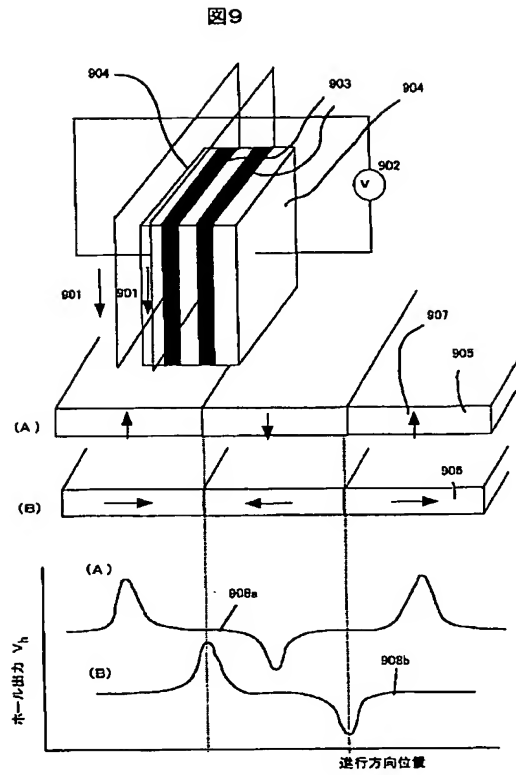


〔図8〕

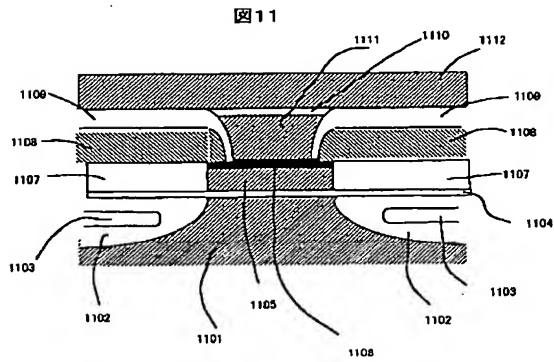
図8



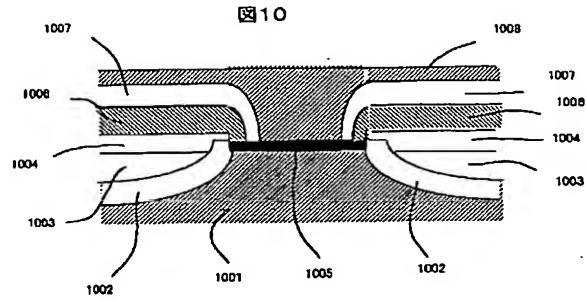
【図9】



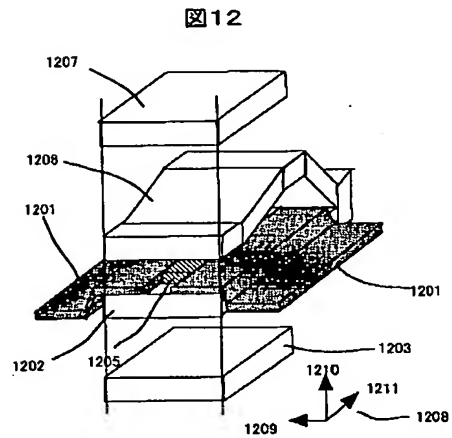
【図11】



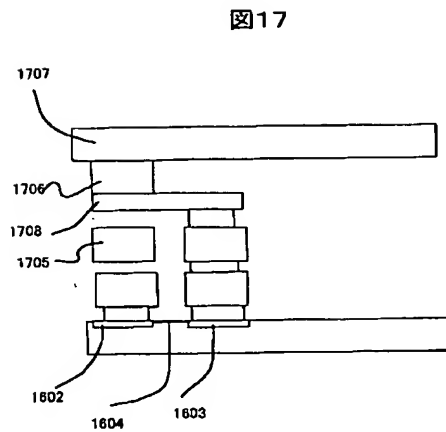
【図10】



【図12】



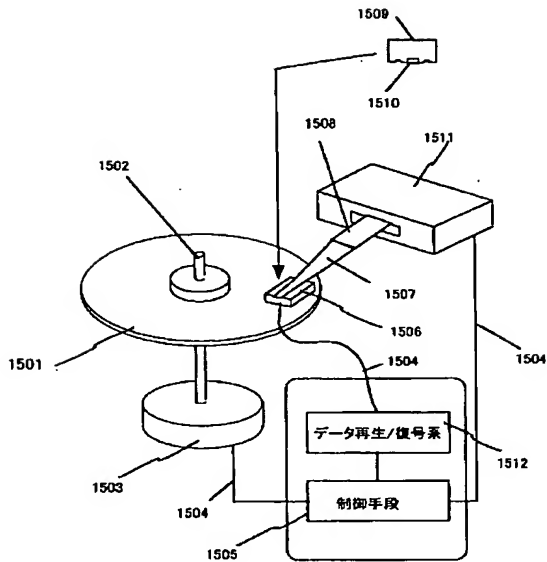
【図17】



BEST AVAILABLE COPY

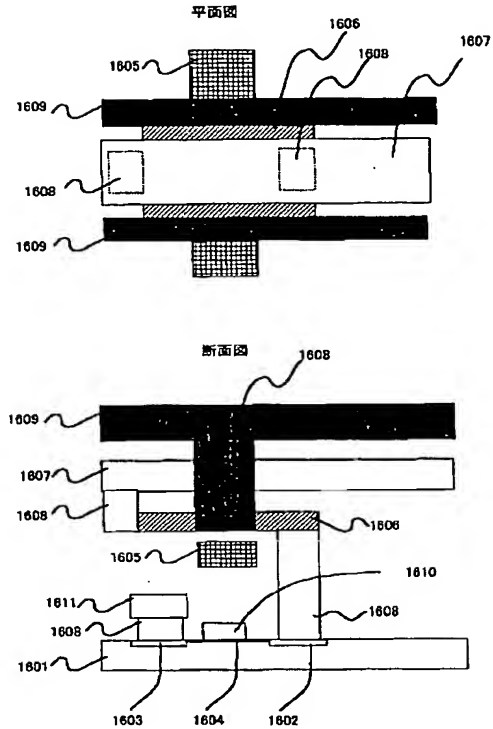
【図15】

図15



【図16】

図16



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

H01L 27/105
43/04
43/10

識別記号

F I

H01L 43/10
27/10
G01R 33/06

テーマコード(参考)

447
H

BEST AVAILABLE COPY